

ボイド放電による空間電荷現象の基礎的研究(第2報)

| | |
|--------------------|---|
| その他（別言語等） のタイトル | A Fundamental Study of Space Charge under the Void Discharge |
| 著者 | 小林 一義, 三井 尚, 服部 耐吉, 沢 茂夫 |
| 雑誌名 | 室蘭工業大学研究報告. 理工編 |
| 巻 | 6 |
| 号 | 1 |
| ページ | 303-314 |
| 発行年 | 1967-07-10 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/3421 |

ボイド放電による空間電荷現象の 基礎的研究 (第2報)

小林一義*・三井 尚**
服部耐吉・沢 茂夫

A Fundamental Study of Space Charge under the Void Discharge

Kazuyoshi Kobayashi, Hisashi Mitsui, Taikichi Hattori
and Shigeo Sawa

Abstract

The present paper deals with an effect of space charge on the dust figure in a void. It is shown that the space charge has an effect more remarkable in the void than that in the air. For instance, the negative streamer form is produced as well as positive one. But the polarity effect and etc. are observed in the void as similarly as in the air.

1. 緒 言

本稿においては、第1報に引き続いて絶縁板を用いて形成したボイド内に放電を発生させ、空間電荷を中心にして考察、検討を加えたもので、特にボイド内に発生するストリーマは、多発する同極性の放電図形のストリーマ間に抑制作用を示し、またボイドの内外に発生する電荷の相互作用の影響について述べている。さらに衝撃電圧の繰返し印加によって、静的状態に存在する空間電荷が次の放電におよぼす影響について述べ、また交流電圧によって得られる表面電荷図の観察に対する目安を与えている。

2. ボイド放電と空間電荷

2-1 実験方法および結果

図-1 に示すように、2枚の絶縁板を用いてボイドを作り、これに針対平板電極配置において直流電圧、又は衝撃電圧を印加すると、ボイド内面に得られる放電図形は、低い電圧においては1個のみであるが、電圧の上昇に伴い放電図形の数が増していき、ついには中央の放電図

* 釧路工業高等専門学校、電気科、助手。

** 室蘭工業大学、大学院電気工学専攻学生。

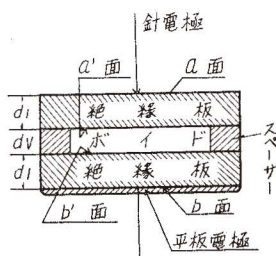


図-1 電極配置

形の周りに多数の放電図形¹⁾が得られるようになる。この時のボイド内面の放電図形の直径を、印加電圧に対して描いた結果を図-2, 図-3に示す。図-2は直流電圧, 図-3は衝撃電圧の場合で、いずれの場合も絶縁板は塩化ビニール平板 (15 cm × 15 cm, 厚さ 2 mm) を用い、ボイド間隙 2 mm である。図-2, 図-3において、×印は針電極が負の時の 1 個, あるいは多数個発生時の中央の 1 個の正図形 (図-1 の a' 面に得られる) を示し、○印は多数個発生時の図形全体の直径を示す。この場合の負図形については、直流電圧の場合 1 mm, 衝撃電圧の場合 2 mm 正図形よりも大である。△印は針電極が正の時の 1 個, あるいは多数個発生時の中央の 1 個の負図形 (図-1 の a' 面に得られる) を示し、□印は多数個発生時

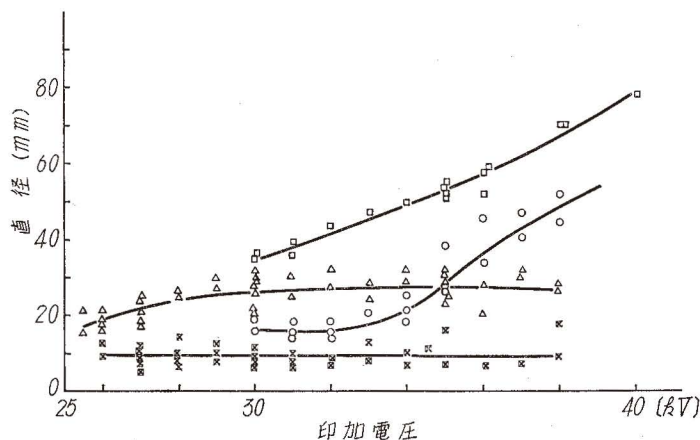


図-2 直流電圧を印加したときのボイド内面の放電図形の直径

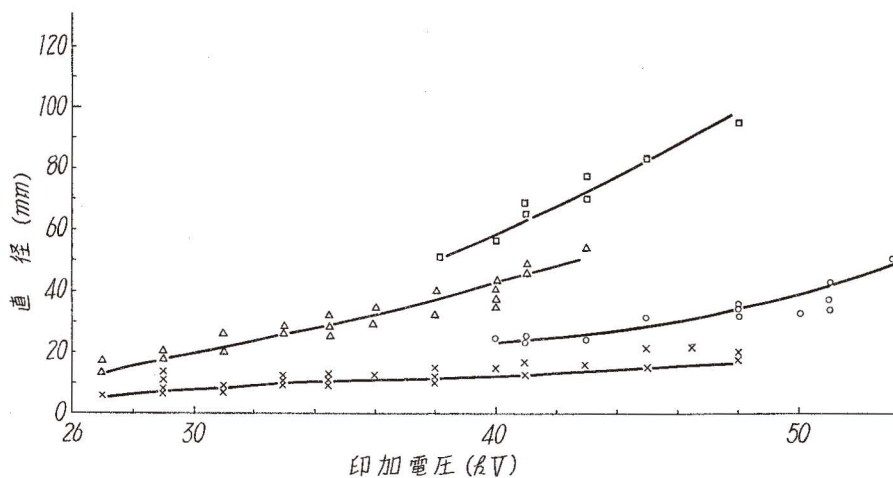


図-3 衝撃電圧を印加したときのボイド内面の放電図形の直径

の図形全体の直径を示す。この場合の正図形 (図-1 の b' 面に得られる) は直流電圧, 衝撃電圧のいずれの場合も約 7 mm ほど負図形よりも大である。またボイド内面の放電図形の特徴として, 第1報¹⁾ で述べた誘導図形の他に針状電極配置に直流電圧を印加する場合, 図-4 に示すように多数個放電図形の大きさが各個とも等しくなる傾向がある。

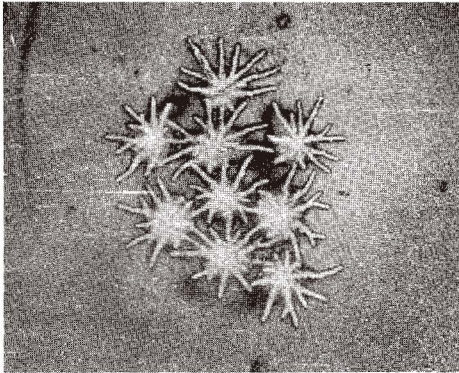


図-4 多数個放電図形

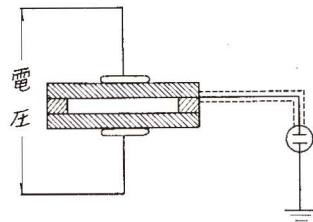


図-5 ボイド内のコロナパルス観測装置

次に 図-5 に示すようにボイド内にリード線を挿入してボイド内のコロナパルスをシンクロスコープによって観測した。リード線は絶縁板に溝を掘って埋めこみ, 中心部以外はシリコンワニスで絶縁を施した。ボイドの外ではリード線にシールドを施し外部からの誘導および漏洩等を防いだ。シンクロスコープは二現象用 (岩崎通信機製 SS-5032) を用い, ボイド内からの信号の他に, 他の一現象回路には印加電圧の分圧信号を入力としている。図-6 は観測波形で, 図-7 に観測波形より求めた印加電圧に対するボイド内からの信号の波高値を描いてある。

2-2 考察および検討

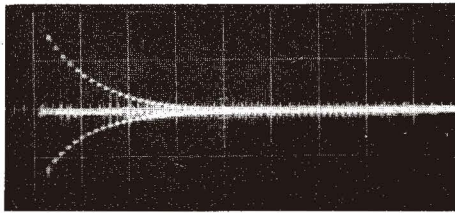
2-1 の結果より 図-2, 図-3 について,

(1) ボイド内面に得られる放電図形は針状電極が正の時が負の時より大きい。すなわち大気中の極性効果に類似している。

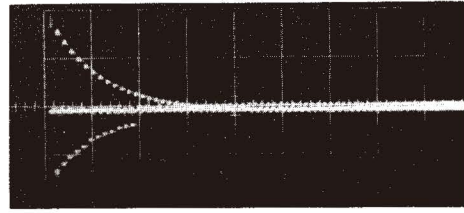
(2) 針状電極が正の時, 正図形 (図-1 の b' 面) が負図形 (図-1 の a' 面) より大で, 針状電極が負の時, 正図形 (図-1 の a' 面) が負図形 (図-1 の b' 面) より小であるが, 各々の場合の正, 負図形の径の比が大気中の正, 負図形の場合より 1 に近い。

(3) 図-2 においては, 1 個の図形の直径が, 多数個の放電図形が得られる付近において一定となる傾向を示している。

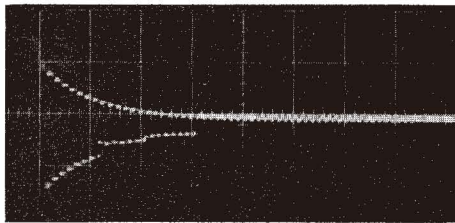
(4) 放電図形が発生してから, 多数個発生時まで, すなわち一個の放電図形の得られる電圧範囲が直流電圧の場合 25.5~30 kV, 衝撃電圧の場合 27~38 kV と大きな差がある。このようにボイド放電によって得られる結果は印加電源の種類, あるいは電極形状等によっても相違が現われるが (3), (4) はボイド内に発生する同極性ストリーマが互いに作用し合うことに関



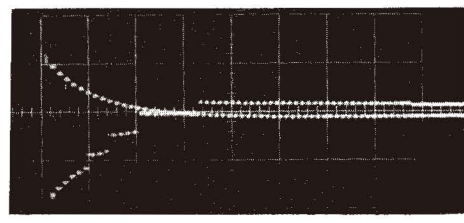
印加電圧(上) 100 V/cm (3.9 kV)
ボイド電圧(下) 20 V/cm (28 V)



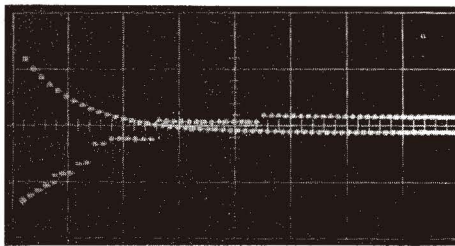
印加電圧(上) 200 V/cm (10.8 kV)
ボイド電圧(下) 50 V/cm (70 V)



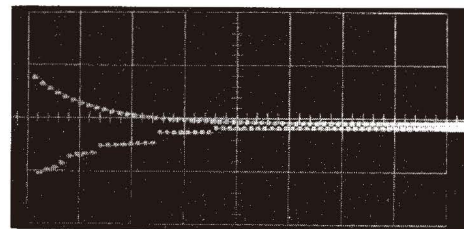
印加電圧(上) 500 V/cm (14.4 kV)
ボイド電圧(下) 50 V/cm (7.0 V)



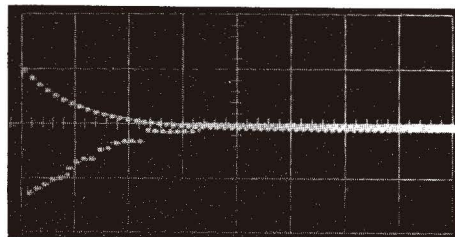
印加電圧(上) 500 V/cm (18.0 kV)
ボイド電圧(下) 50 V/cm (90 V)



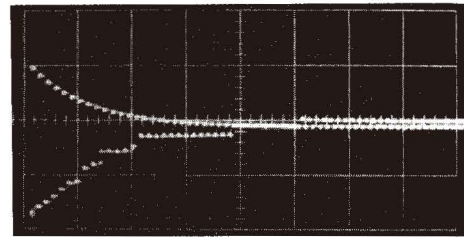
印加電圧(上) 500 V/cm (21.8 kV)
ボイド電圧(下) 100 V/cm (130 V)



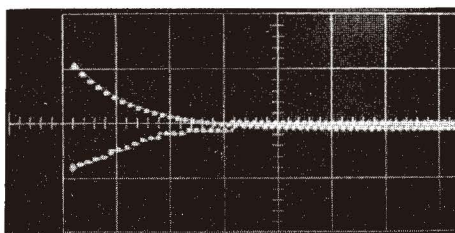
印加電圧(上) 1,000 V/cm (29.0 kV)
ボイド電圧(下) 200 V/cm (210 V)



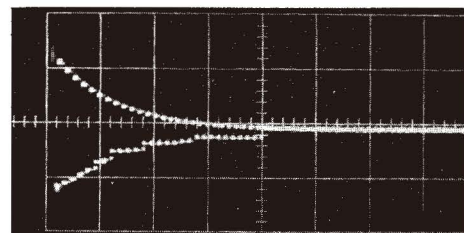
印加電圧(上) 1,000 V/cm (32.5 kV)
ボイド電圧(下) 200 V/cm (267 V)



印加電圧(上) 1,000 V/cm (36.1 kV)
ボイド電圧(下) 200 V/cm (333 V)



印加電圧(上) 1,000 V/cm (40.0 kV)
ボイド電圧(下) 500 V/cm (416 V)



印加電圧(上) 1,000 V/cm (43.2 kV)
ボイド電圧(下) 500 V/cm (583 V)

図-6 ボイド内のコロナパルスの観測波形

係があると考えられる。

またシンクロスコープによるコロナパルスの検出については、測定回路を単に図-8に示すような絶縁板自体の静電容量 C_d 、ボイドの静電容量 C_v より構成されるものとする、

(5) ボイド内からの信号は印加電圧の分圧波形にコロナパルス成分が重畳したものと考えられるから分圧波形が印加電圧に比例するものとして除去すると、図-9に示すコロナパルスが得られる。ただし実際には図-8に示す容量以外にリード線等、測定回路に漂遊する容量が分圧容量として相当含まれている事が、図-8による概算の結果と観測波形の結果を比較することにより明らかである。

(6) このコロナパルスの極性は、リード線を埋め込んだ絶縁板表面の放電図形の極性と一致している。

(7) さらに図-7に示すように、印加電圧とボイド内からの信号が比例しないのは、電離によってボイド内に発生した空間電荷が印加電界に対して逆電界を形成するためと考えられる。

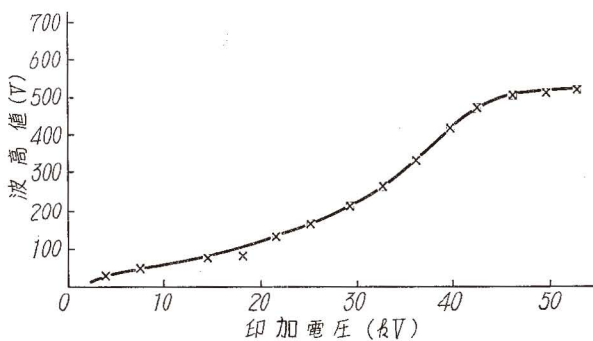


図-7 印加電圧に対するボイド内電圧波高値

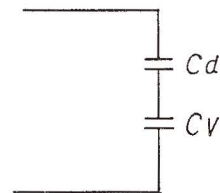


図-8 測定回路の等価容量

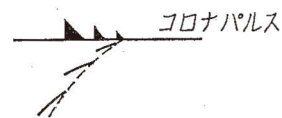


図-9 コロナパルスの形状

3. 交流電荷図と空間電荷の影響

3-1 実験方法

一般に交流電界の如く、周期的に極性が変わる場合の電極周辺の空間電荷の影響を知る一助として図-10に示すような1枚の絶縁板を、規格直径38 mm、厚さ6.5 mmの平円板電極で挟んで、衝撃電圧の極性を交互に変化しながら繰返し印加して求めた電荷図と交流電圧による電荷図とを比較した。交流電圧の場合は図-11に示すように一次側の電圧調整器の出力をシンクロスコープ入力として、交流電圧印加時および切る時の位相を測定して、得られた表面電荷図を用いて比較検討を行なった。

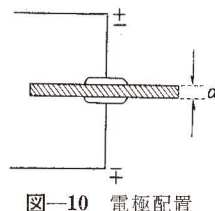


図-10 電極配置

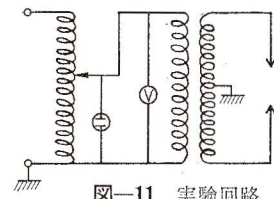


図-11 実験回路

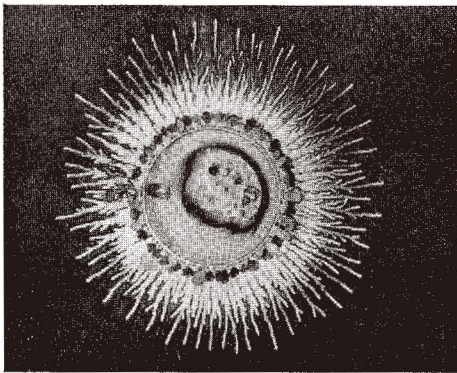
3-2 実験結果

図-12は衝撃電圧1回印加の場合、以下図-13は2回、図-14は3回、図-15は4回、図-16は10回、図-17は11回印加した場合に得られた図形である。いずれにおいても(a)が最後に印加した極性が正で、同一波高値の電圧を繰返し印加したものである。また図-18は36kVから4kV毎に16kVまで低くしながら6回印加したもの、図-19は13kVから4kV毎に33kVまで昇圧しながら6回印加したものである。交流電圧印加の場合の図-20(a)は(b)図に示すように徐々に電圧を降下したもの、図-21(a)は(b)図の位相において急に開閉器を開いたもの、図-22(a)は(b)図のように図-21と逆位相において開閉器を開いたものである。

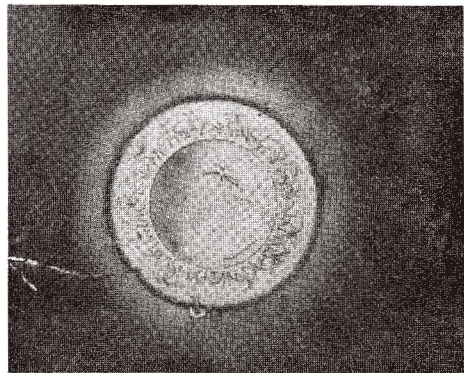
3-3 実験結果の考察および検討

図-12から図-17までの(a)図を比較すると、いずれも正極性で終った場合で正図形となっている。しかしその形状は電圧印加の回数が増すほど複雑になる傾向を示している。これは負電荷の残留している所に正放電が生じると、正ストリーマの伸展が負ストリーマの伸展より大きいために、負電荷が中和消滅して正図形に変わってしまったと考えられる。さらに電圧印加回数を増していくに従ってその形状が乱れていくのは残留電荷が与える電界の歪のためと考えられる。特に1回の電圧印加の場合でも、絶縁板の厚さ4mmの時の図-12に比較して厚さ1mmの時の図-23が図-13などと同様な形状の乱れがあるのは裏面に発生した電荷の影響による電界の歪のためと考えられる。他方負極性で終った(b)図の場合は、正図形に負図形が重畳する形で現われている。これも負ストリーマの伸展が正ストリーマの伸展より小さいために先に発生した正の残留電荷をすべて中和出来ずに負放電領域の正電荷のみを中和する結果と考えられる。また負図形の周辺が乱れているのは前の残留電荷の影響であろう。これらの図形の径を比較してみると(a)図においては、局部的に特に鋭く伸びている正ストリーマを除くと、いずれも1回のみ印加した時の正図形に等しく、(b)図においては外側の正ストリーマは(a)図の正ストリーマの状態と同様であり、内側の負図形は1回のみ印加した時の負図形の径より多少大きくなっているが印加回数に伴う増大は目立たない。

次に交流電圧の場合と比較してみると(a)図と図-21が、(b)図と図-22がおおの類似しているように観察される。交流電圧における図-21と図-22は位相が全く逆に近い状態で終った場合であるが、様々な位相で終った場合の表面電荷図はスイッチを切ったときの電圧位相に支配される。また高電圧のまま開閉器を急に開いた場合と徐々に電圧を降下して開いた場合とでは、表面電荷図に明らかな相違が認められ、徐々に電圧を降下した図-20は正、負図形の層状が著しく、これに類似するものが図-18である。図-18は衝撃電圧を各回毎に低くして印加した場合で、反対に各回毎に電圧を上昇した図-19が図-13などと同様な形状を呈するのは、後に発生する放電が前に発生した放電を駆逐する結果と考えられる。また各回毎に電圧を上昇させた後、電圧を低くした場合にも図-13と同様な結果を示し、表面電荷図を支配するものは

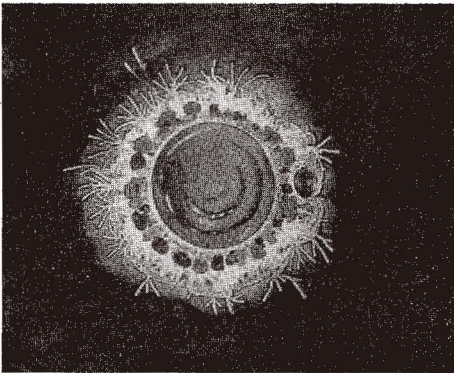


(a)

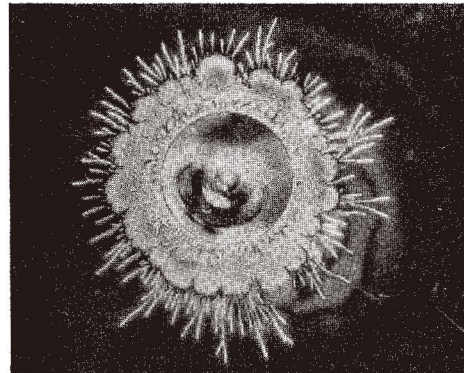


(b)

図-12 衝撃電圧 1 回, $d=4$ mm

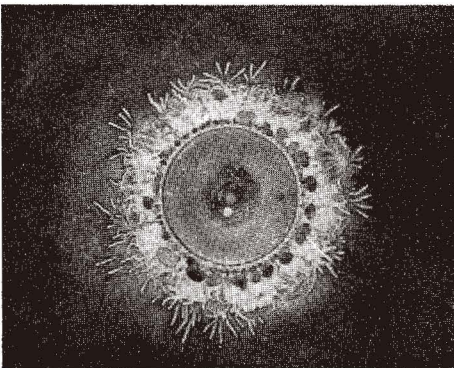


(a)

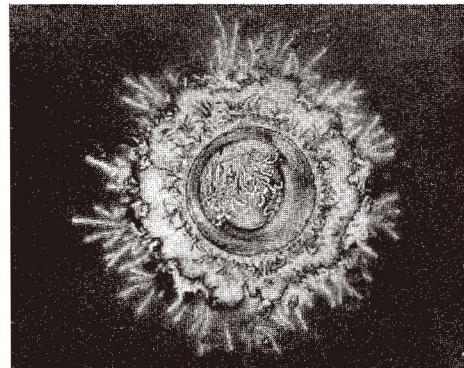


(b)

図-13 衝撃電圧 2 回, $d=4$ mm

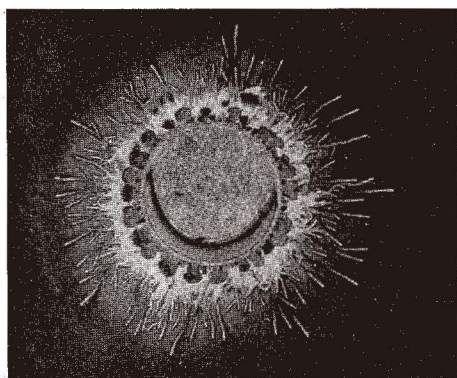


(a)

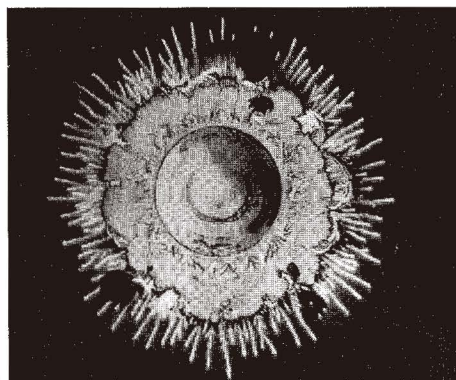


(b)

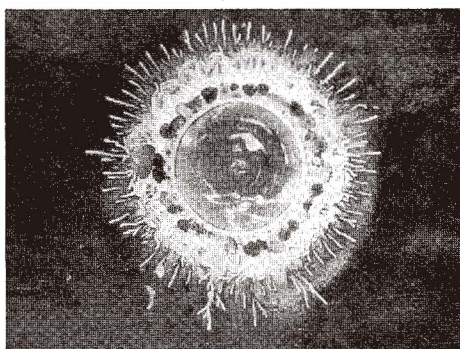
図-14 衝撃電圧 3 回, $d=4$ mm



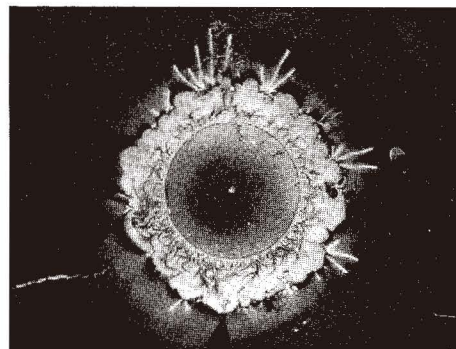
(a)



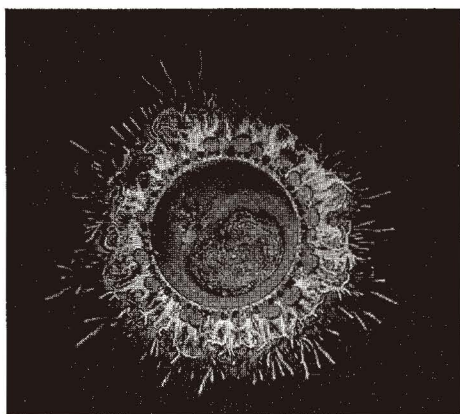
(b)

図-15 衝撃電圧 4 回, $d=4$ mm

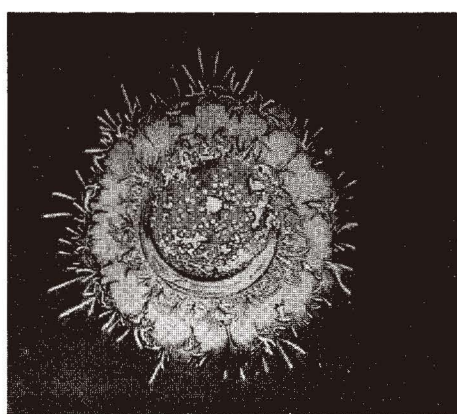
(a)



(b)

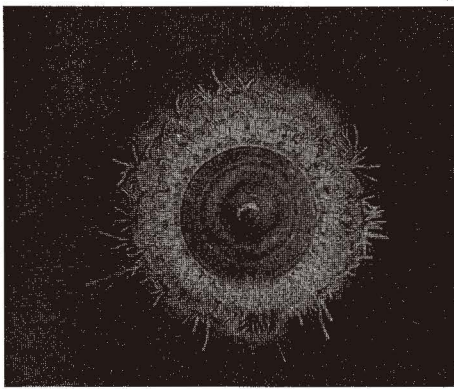
図-16 衝撃電圧 10 回, $d=4$ mm

(a)

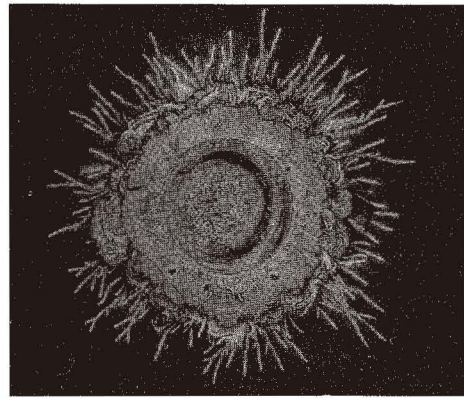


(b)

図-17 衝撃電圧 11 回, $d=4$ mm

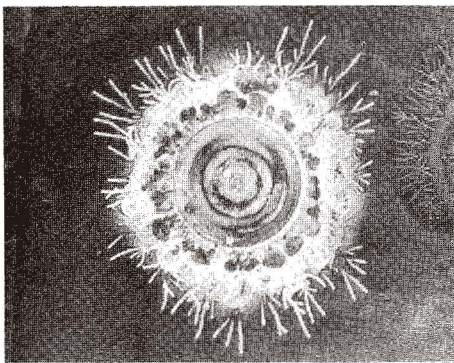


(a)

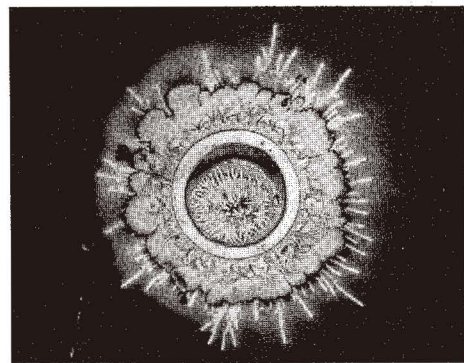


(b)

図—18 衝撃電圧を 36 kV より 16 kV 迄 6 回, $d=4$ mm

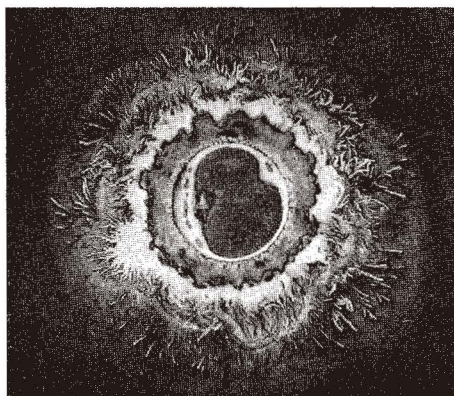


(a)

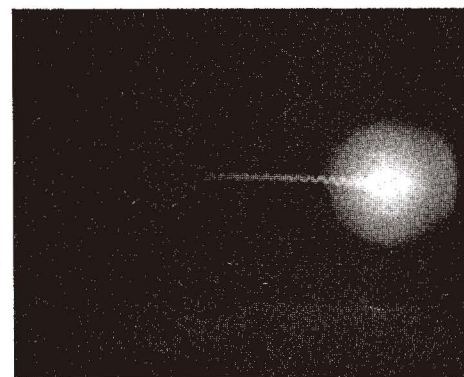


(b)

図—19 衝撃電圧を 13 kV より 33 kV 迄 6 回, $d=4$ mm

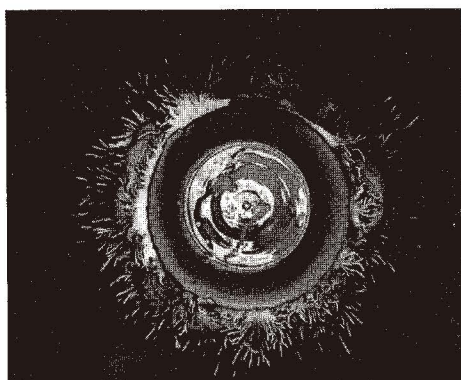


(a)



(b)

図—20 交流電圧を徐々に降下して得られた図形とその波形

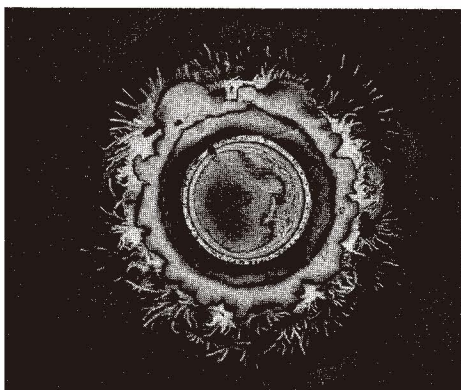


(a)



(b)

図-21 交流電圧を急に切断して得られた図形とその時の波形

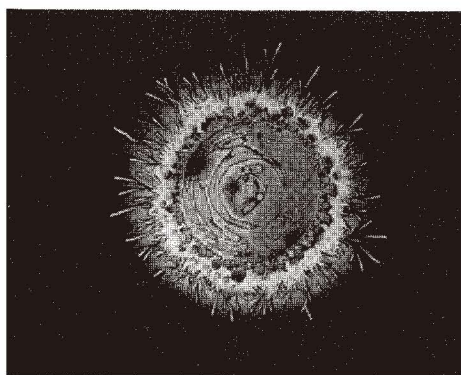


(a)

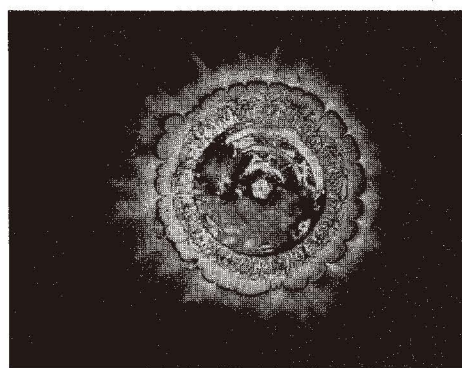


(b)

図-22 交流電圧を急に切断して得られた図形とその波形



(a)



(b)

図-23 衝撃電圧 1 回, $d=1\text{ mm}$

最後に印加した波であることを示している。

以上のことより衝撃電圧の繰返し印加の結果を直ちに交流電圧の場合に近似するのは妥当ではないが、極性が交互に変化する点などから次のように推察される。すなわち極性が交互に変化する交番電圧を印加する場合、表面電荷図を支配する波は最後の波の極性である。しかし前の放電領域が後の放電領域より大きい場合には、前の放電の結果も現われ後の放電によるものが重畳した図形となる。結局一度放電が起りその結果生じた残留電荷は次の放電領域が前の放電領域に達しない限り消滅せずにそのまま残留するものと考えられる。したがって交流電圧における表面電荷図が正、負の層状を形成するのは、電圧を徐々に降下する時に現われると考えられる。このように表面電荷図は最後の波に支配されると考えられるが、前の放電によって生じた残留電荷は重い正、負イオンとして残留すること、ストリーマの導電性が小さいことなどから主として残留電荷による電界が印加電界に歪を与え、ストリーマの伸展を乱すものと考えられる。また放電領域に空間電荷が存在する場合は電荷の消長の確率の変化があるため、異極性の空間電荷が存在する時はストリーマの伸展を増大させると考えられる。しかし実際には正の残留電荷によって負ストリーマが多少伸展する程度で著しい変化がなかった。しかし同極性の空間電荷においてはストリーマの伸長を抑制するのみならず、正ストリーマにおいては、その分布が放射状に拡散的に分布するために、局部的に鋭く伸びることがある。さらに裏面の残留電荷も絶縁板が薄くなるほど電界の歪を与える影響が大であることが、図-23あるいは誘導図形を考慮する時推察される。

4. 結 言

実験の結果を要約すると、

- 1) 空隙内における放電においても大気中と同様に極性効果の類似現象がある。
- 2) 衝撃電圧に比べ直流電圧の方が多数個放電になり易く、多数個放電において同極性の放電のストリーマが互いに他の放電のストリーマの伸びに抑制作用をする。
- 3) 空隙内のコロナパルスの極性とボイド内の放電図形の極性は一致している。
- 4) ボイド内で発生した空間電荷が逆電界を形成し、衝撃電圧の波尾の段階においてもコロナパルスが盛んに発生する。
- 5) 残留電荷に誘導されて形成する図形は残留電荷の影響を示す。
- 6) ボイド内に発生するストリーマは電極側に発生する空間電荷およびそれ自身による電界の歪の影響を強く受ける。
- 7) 静的状態に重い正、負イオンとして残留する電荷は、その移動度が小さく、電界の歪を与えるためにその分布状態によって、ボイド内の同極性ストリーマの抑制作用のみでなく、逆に局部的に鋭い伸展を与えることがある。

したがって裏面の残留電荷の影響を受けて現われる図形は裏面の残留電荷の影響力の存在を示し、電極側空間および沿面より放電が遅れるボイド内のストリーマは同極性ストリーマによる抑制作用の他に、ボイドの内外に発生した空間電荷による電界の歪を受け複雑になっていく。また残留電荷が存在する所に放電が発生する場合、絶縁板表面に残留する静的状態の空間電荷は移動度が小である重い正、負イオンとして残留し、ストリーマの導電性が小であることなどより、同極性ストリーマの伸展に対して抑制作用をするのみでなく、正ストリーマの様に放射状に分布する場合には局部的に電界の強い所を生じ鋭く伸展する場合がある。

おわりに本実験に協力された松尾、加藤両氏に深謝する。 (昭和42年4月27日受理)

文 献

- 1) 小林・服部・沢：室工大研報, 5, 527 (1966).